



日本国特許庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

1999年12月27日

出願番号

Application Number:

平成11年特許願第370602号

出願人

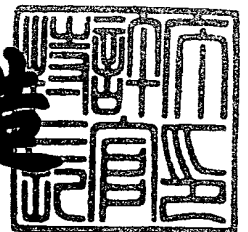
Applicant(s):

古河電気工業株式会社

2000年11月10日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3093745

【書類名】 特許願

【整理番号】 990536

【提出日】 平成11年12月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/28

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 柏原 一久

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 奈良 一孝

【特許出願人】

 【識別番号】 000005290

 【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100090022

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長門 侃二

 【電話番号】 03-3459-7521

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 007537

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 アレイ導波路回折格子型光合分波器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力導波路と、前記入力導波路に合体する入力側スラブ導波路と、前記入力側スラブ導波路に接続されたチャンネル導波路から成るアレイ導波路と、前記アレイ導波路に接続された出力側スラブ導波路と、前記出力側スラブ導波路に合体する出力導波路とを備えており、

前記入力導波路と前記入力側スラブ導波路との合体部は、前記入力側スラブ導波路に向かって、入力導波路と、前記入力導波路よりも狭幅の直線導波路と、前記入力導波路よりも広幅の直線導波路と、前記広幅の直線導波路の端面から順次拡幅するテーパ導波路とがこの順序で接続された構造になっていること、または／および前記出力導波路と前記出力側スラブ導波路との合体部も、前記構造と同じ構造になっていることを特徴とするアレイ導波路回折格子型光合分波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光波長多重通信に用いられるアレイ導波路回折格子型光合分波器に関し、更に詳しくは、出力導波路における損失波長特性は中心波長付近で優れた平坦性を示すと同時に、隣接する通過波長間で低いクロストークを示し、また、製造時における歩留まりも高いアレイ導波路回折格子型光合分波器に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、光通信の分野では、情報の伝送容量を飛躍的に高めるために、複数の情報を異なる波長の光に載せて 1 本の光ファイバで伝送する光周波数多重通信方式の研究が盛んに進められている。そして、そのような多重通信方式を実現するためには、用いる多数の光を合波し、また分波するための光合分波器が必要になる。

【0003】

その場合、その光合分波器には次のような性能が要求されている。

第 1 の性能は、情報の伝送容量を高めるためには、ある波長範囲においてできるだけ狭い波長間隔で光を伝送することが有効であるので、そのような光を合波し、また分波することができるということである。例えば、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯域において波長間隔が約 $0.8\ \text{nm}$ に相当する $100\ \text{GHz}$ 間隔の光に対する合分波が要求されている。

【0004】

第 2 の性能は、通過波長付近における波長平坦性が優れているということである。

例えば光波長多重通信システムを構築する際におけるコスト低減のために、光源として廉価な LD 光源を用いると、使用環境における温度や湿度などの変動に伴って光源からの発振波長が変動したり、発振波長の経時変動などを起こすことがある。このような光源からの発振波長変動が起こると、光合分波器の通過波長特性に対応した状態で損失波長変動が起こる。そして、この損失変動は、光合波される波長間での損失均一性を劣化させ、多重通信システムとしての S/N を劣化させるため、当該システム構築時のコストを高めることになる。

【0005】

第 3 の性能は、伝送される複数の光において、隣接する通過波長間のクロストークが低いということである。具体的には、 $-26\ \text{dB}$ 以下のクロストークでの光の合分波が要求される。

このような光合分波器に関しては、アレイ導波路回折格子を用いたタイプのものが提案されており、本発明者らも、このタイプの光合分波器の開発研究を進め、前記した第 1 の性能と第 2 の性能を満たす光合分波器を開発し、それを既に特願平 10-237440 号として出願した。

【0006】

ここで、本発明者らが提案した上記光合分波器の概略平面図を図 4 に、また、入力導波路と入力側スラブ導波路との合体部の平面構造を図 5 に示す。

この光合波器は、例えば Si から成る基板の上に、火炎堆積法によって下部クラッド層 (SiO_2 が主成分)、コア層 (SiO_2 が主成分で例えば GeO_2 を添加) を順次積層したのち全体を加熱して透明ガラス化し、ついでフォトリソグラ

フィーとドライエッチング適用して所定の配線構造を形成する。その上に、更に火炎堆積法で上部クラッド層 (SiO_2 が主成分) を堆積して前記コア層の配線構造を堆設したのち加熱してその上部クラッド層を透明ガラス化して製造される。

【0007】

この光合分波器は、基板 1 の上に、1 本または複数本の入力導波路 2 が配線され、この入力導波路 2 の端部は入力側スラブ導波路 3 と合体されて入力側の合体部 A が形成され、入力側スラブ導波路 3 には複数本のチャネル導波路 4 a から成るアレイ導波路 4 が接続され、そのアレイ導波路 4 には出力側スラブ導波路 5 が接続され、そしてその出力側スラブ導波路 5 には複数本の出力導波路 6 の端部が合体されて出力側の合体部が形成された構造になっている。

【0008】

この光合分波器における入力導波路 2 と入力側スラブ導波路 3 との合体部 A は、導波路幅 W_1 の入力導波路 2 と、入力側スラブ導波路 3 の端面 9 B に形成された、平面視形状が台形で、その端面 9 B における導波路幅が W_2 である広幅導波路部分 9 との間に、互いに独立して 2 本の狭幅導波路部分 8, 8 が配置された構造になっている。

【0009】

そして、入力導波路 2 の端部 2 A は光軸に対して角度 θ で路幅方向に順次拡幅するテーパ部になっており、その端面 2 B からギャップ g_1 の距離を置き、かつ前記テーパ部 2 A と同じ角度 θ で入力側スラブ導波路 3 の方に延在する前記狭幅導波路部分 8, 8 が、その端面 8 A 側では CW の間隔で、端面 8 B 側では SW の間隔で配置され、これらの端面 8 B, 8 B と前記広幅導波路部分 9 の端面 9 A との間にギャップ g_2 が形成されている。

【0010】

合体部 A を上記した構造にすることにより、上記光合分波器は、前記した第 1 の要求性能を満たすことはもち論であるが、第 2 の要求性能である損失波長特性の平坦性が良好となり、3 dB 通過帯域幅、1 dB 通過帯域幅のいずれもが広くなるという効果を奏している。

しかしながら、その後の研究において、例えば 1 dB 通過帯域幅を広くするように図 5 で示した合体部 A の寸法諸元を設計して光合分波器を製造すると、隣接通過波長のクロストークが大きく劣化して前記した第 3 のクロストーク性能を満たさないこともあり、また合体部 A の構造が複雑になっているので、実際に製造した合体部 A の寸法諸元のばらつきも大きいという問題のあることが判明した。

【0 0 1 1】

例えば、図 5 で示した構造の合体部 A を有し、波長間隔 1 0 0 GHz、すなわち $1.55 \mu\text{m}$ 帯域において約 0.8 nm の波長間隔となる図 4 で示した光合分波器を設計し、その設計基準に基づいて 3 個の光合分波器を製造し、それらの性能調査を行ってみた。

このとき、図 5 で示した合体部 A の寸法諸元は次のとおりとした。

【0 0 1 2】

すなわち、入力導波路 2 の導波路幅 W_1 : $6.5 \mu\text{m}$ 、広幅導波路部分 9 の導波路幅 W_2 : $17 \mu\text{m}$ 、広幅導波路部分 9 の突出長 H : $20 \mu\text{m}$ 、角度 θ : 0.4° 、狭幅導波路部分間の間隔 CW : $3.0 \mu\text{m}$ 、狭幅導波路部分間の間隔 SW : $3.5 \mu\text{m}$ 、ギャップ g_1 、 g_2 : $5 \mu\text{m}$ 、導波路（部分）の路高 : $6.5 \mu\text{m}$ 、そして、導波路（部分）の比屈折率差 : 0.8 % である。

このような寸法諸元で製造した 3 個の光合分波器の各出力導波路における損失波長特性を測定したところ、表 1 で示すような結果が得られた。

【0 0 1 3】

【表 1】

	1 dB 通過帯域幅 (μm)	隣接クロストーク (*) (dB)
第 1 の光合分波器	0.45	-20
第 2 の光合分波器	0.42	-23
第 3 の光合分波器	0.38	-28

(*) : 中心波長に対して $0.8 \pm 0.1 \text{ nm}$ の隣接波長範囲内における最悪クロストーク。

【0 0 1 4】

表 1 から明らかなように、3 個の光合分波器の製造に当たり、同じ設計寸法で

合体部 A を製造したにもかかわらず、実際に製造された合体部 A の寸法諸元がばらついているため、1 dB 通過帯域幅も大きくばらついている。また、1 dB 通過帯域幅が広い光合分波器ほど隣接クロストークが劣化している。

【0015】

例えば、第 1、第 2 の光合分波器の場合、仮に隣接クロストークの合格規格値が -26 dB 以下であると不合格品になっている。すなわち、この場合、合格品の歩留まりは $1/3$ ということになる。

このように、特願平 10-237440 号として出願した光合分波器の場合、1 dB 通過帯域幅が広くなるように設計するとその隣接クロストークの劣化が大きくなり、しかも合体部 A の寸法諸元がばらついて製造歩留まりも低いという問題の解決が残されている。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は特願平 10-237440 号の光合分波器における上記した問題を解決し、1 dB 通過帯域幅と 3 dB 通過帯域幅は上記光合分波器と同等かそれよりも広く、しかも、隣接クロストークは低く、かつ製造歩留まりは高い新規なアレイ導波路回折格子型光合分波器の提供を目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】

上記した目的を達成するための研究過程で、本発明者らは、表 1 の第 1 の光合分波器につき、広幅導波路部分 9 の後方に位置する入力側スラブ導波路 3 の直前位置における光の強度分布をビーム伝搬法でシミュレーションしたところ、図 6 で示した知見が得られた。

【0018】

図 6 から明らかなように、入力側スラブ導波路 3 に入力する光の強度分布は、なだらかな裾野部分 a_1 、 a_2 を有し、中央に強度の大きな落ち込み部分 b を有する双峰形状になっている。

この結果から、本発明者らは、前記した第 1 の光合分波器の場合、出力導波路から出力する光は上記入力光における大きな落ち込み部分 b と双峰形状における

2つの山の間隔Cの影響を受けて1 dB帯域幅が大きく変動し、またなだらかな裾野部分 a_1 , a_2 の影響を受けて隣接クロストークの劣化が起こるとの推論に達した。そして、この推論に基づき、入射側スラブ導波路の直前位置では、その強度分布における落ち込み部分bが小さく、そして間隔Cが変動しにくく、なだらかな裾野部分 a_1 , a_2 が生じないような光入力形成するように合体部を設計すれば、それを有する光合分波器は出力導波路から出力する光の1 dB帯域幅の変動を小さくすることができ、かつ隣接クロストークの劣化も抑制できるとの着想を抱いた。

【0019】

また、表1で示した3個の光合分波器において、1 dB通過帯域幅および隣接クロストークのばらつきと、合体部Aにおける寸法諸元のばらつきとの関係を調べたところ、寸法諸元のばらつきが最も大きい箇所は2本の狭幅導波路部分8, 8の路幅や相互の間隔であり、そしてこの狭幅導波路部分の導波路幅によって上記した1 dB通過帯域幅と隣接クロストークのばらつきが大きく左右されるという知見を得た。

【0020】

本発明者らは、上記したこれらの知見とそれを踏まえた上記着想に基づいて合体部Aに関する各種の設計を試み、その結果、後述する構造の合体部を有する光合分波器は、前記した第1の性能と第2の性能はもち論のこと、第3の性能も満たして、高い製造歩留まりで隣接クロストークを-26 dB以下にすることができるとの事実を見出し、本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器を開発するに至った。

【0021】

すなわち、本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、入力導波路と、前記入力導波路に合体する入力側スラブ導波路と、前記入力側スラブ導波路に接続されたチャンネル導波路から成るアレイ導波路と、前記アレイ導波路に接続された出力側スラブ導波路と、前記出力側スラブ導波路に合体する出力導波路とを備えており、

少なくとも前記入力導波路と前記入力側スラブ導波路との合体部は、前記入力

側スラブ導波路に向かって、入力導波路と、前記入力導波路よりも狭幅の直線導波路と、前記入力導波路よりも広幅の直線導波路と、前記広幅の直線導波路の端面から順次拡幅するテーパ導波路とがこの順序で接続された構造になっていること、または／および前記出力導波路と前記出力側スラブ導波路との合体部も、前記構造と同じ構造になっていることを特徴とする。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、図面に則して本発明の光合分波器を詳細に説明する。

なお、アレイ導波路回折格子は、光回路の相反性（可逆性）の原理を利用しているため、入力と出力との関係が逆であったとしてもその動作原理は成立する。したがって、以下の説明は入力導波路側の場合について説明する。

【0023】

図1は、本発明の光合分波器の1例を示す概略平面図であり、図2は入力導波路と入力側スラブ導波路との合体部 B_1 を示す平面図である。

図1において、本発明の光合分波器が、全体として、基板1の上に、1本または複数本の入力導波路2が配線され、この入力導波路2の端部は入力側スラブ導波路30と合体されて入力側の合体部 B_1 が形成され、入力側スラブ導波路3には複数本のチャネル導波路40aから成るアレイ導波路40が接続され、そのアレイ導波路40には出力側スラブ導波路50が接続され、そしてその出力側スラブ導波路50には複数本の出力導波路60の端部が形成されていることは、特願平10-237440号で出願した光合分波器の場合と同じである。

【0024】

しかしながら、合体部 B_1 は図2で示した平面視構造になっている点が特願平10-237440号の光合分波器と異なっている。

合体部 B_1 は、次のような平面視構造になっている。

まず、入力側スラブ導波路30に向かって、導波路幅 W_1 の入力導波路20の端面20Bに、この入力導波路20よりも狭幅な導波路幅 W_3 ($W_1 > W_3$) を有する長さ (L_1) の直線導波路70が接続されている。

【0025】

そして、上記直線導波路 70 の端面 70B は、入力導波路 20 よりも広幅な導波路幅 W_4 ($W_4 > W_1 > W_3$) を有する長さ (L_2) の直線導波路 80 に接続されている。

また、上記直線導波路 80 の端面 80B からは、角度 θ で入力側スラブ導波路側に向かって順次拡幅していくテーパ導波路 90 が延在し、その導波路幅が W_2 になった地点でこのテーパ導波路 90 は入力側スラブ導波路 30 と接続されている。

【0026】

このように、合体部 B_1 は、入力導波路 20 と入力側スラブ導波路 30 の間に配置される上記各導波路がいずれも 1 本であり、しかも図 5 で示した先行技術における合体部 A の場合のような各導波路間にギャップを形成しない構造になっている。

この合体部 B_1 における各導波路は次のような作用効果を発揮する。

【0027】

まず、導波路幅 W_3 の狭幅な直線導波路 70 では、この直線導波路 70 に比べれば広幅な導波路幅 W_1 の入力導波路 20 の端面 20B から入力してきた光に対し、その強度分布における中心の位置合わせが達成される。

そして、導波路幅 W_4 の直線導波路 80 では、狭幅な直線導波路 70 の端面 70B から入力した光は、 V 値（規格化周波数）を 2.4 以上にすることにより、導波路幅方向に一気に広がり、ついで、テーパ導波路 90 では、直線導波路 80 で調質された上記した状態にある光の強度分布に対し、その形状における裾野部分 a_1 、 a_2 の切り落としが進行しながら、全体としての分布幅が広がっていく。

【0028】

したがって、入力導波路 20 から合体部 B_1 を伝搬して入力側スラブ導波路 30 に入力してくる光は、その強度分布の中心位置が合致しており、同時に裾野部分が切り落とされた状態になっている。

【0029】

【実施例】

実施例 1～3

Si 基板の上に、火炎堆積法とフォトリソグラフィーとエッチングを組み合わせ、波長間隔が 100 GHz 間隔、すなわち 1.55 μm 帯域において約 0.8 nm の波長間隔になる図 1、図 2 で示した光合分波器を製作した。

【0030】

すなわち、Si 基板の上に、火炎堆積法によって下部クラッド層 (SiO_2 が主成分)、コア層 (SiO_2 が主成分で GeO_2 を添加) を順次積層したのち全体を加熱して透明ガラス化した。ついで、フォトマスクを用いて前記コア層をドライエッチングし、更に火炎堆積法で上部クラッド層 (SiO_2 が主成分) を堆積して前記ドライエッチング後のコア層を埋設したのち加熱して前記上部クラッド層を透明ガラス化して光合分波器を製作した。

そのときの合体部 B_1 は表 2 で示した寸法諸元になっている。

【0031】

【表 2】

	実施例 1	実施例 2	実施例 3
入力導波路 20 の路幅 W_1 (μm)	6.5	6.5	6.5
直線導波路 70 の路幅 W_3 (μm)	3.0	3.0	3.0
直線導波路 70 の長さ L_1 (μm)	500	500	500
直線導波路 80 の路幅 W_4 (μm)	12.75	14.0	17.0
直線導波路 70 の長さ L_2 (μm)	250	250	250
テーパ導波路 90 の角度 θ ($^\circ$)	0.4	0.4	0.4
テーパ導波路 90 の最終幅 W_2 (μm)	31.2	24.0	22.8

【0032】

(1) まず、実施例 1 の光合分波器につき、入力側スラブ導波路 30 の直前位置における光の強度分布をビーム伝搬法でシミュレーションした。その結果を図 3 に示した。

図 3 から明らかなように、図 6 で示した先行技術のシミュレーション結果に比べると、強度分布は全体として平坦化し、かつ裾野部分は急激な起ちあがりを示している。

(2) つぎに、各実施例の光合分波器の出力導波路 60 における損失波長特性を測定した。その結果を表 3 に示す。

【0033】

【表3】

	1 dB通過帯域幅(μm)	隣接クロストーク (dB)
実施例1	0.50	-28
実施例2	0.48	-30
実施例3	0.52	-27

【0034】

表3の結果と特願平10-237440号の光合分波器に関する結果(表1)を対比すると、各実施例の光合分波器は、1 dB通過帯域幅が同等かそれよりも広く、しかも隣接クロストークの劣化が起こっていない。

(3) 実施例1の寸法諸元を設計目標にして3個の光合分波器を製造し、それぞれの出力導波路60における損失波長特性を測定した。その結果を表4に示す。

【0035】

【表4】

	1 dB通過帯域幅(μm)	隣接クロストーク (dB)
第1の光合分波器	0.51	-27
第2の光合分波器	0.49	-29
第3の光合分波器	0.50	-28

【0036】

表4と表1を対比して明らかなように、本発明の光合分波器は、1 dB通過帯域幅も広く、かつばらつきも小さい。更には隣接クロストークの劣化も起こっておらず、例えば-26 dB以下を合格品の規格値であるとした場合、実施例1は製造した全数が合格品になっている。

これは、合体部B₁が特願平10-237440号における合体部Aに比べると、その構造が簡単であり、したがって製造時における寸法諸元のばらつきを小さくすることができるからである。

【0037】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように、本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器は

、出力導波路における損失波長特性が中心波長付近で優れた平坦性を示し、1 dB 通過帯域幅が広く、しかも隣接クロストークの劣化も起こらず、更には製造歩留まりも高く、多重通信システムの構築に用いる光合分波器としてその工業的価値は極めて大である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の光合分波器の概略を示す平面図である。

【図 2】

本発明の光合分波器における合体部 B_1 を示す平面図である。

【図 3】

実施例 1 の光合分波器において、その入力側スラブ導波路の直前位置における光の強度分布を示すグラフである。

【図 4】

特願平 1 0 - 2 3 7 4 4 0 号の光合分波器の概略を示す平面図である。

【図 5】

図 4 の光合分波器における合体部 A を示す平面図である。

【図 6】

図 4 の光合分波器において、その入力側スラブ導波路の直前における光の強度分布を示すグラフである。

【符号の説明】

2 0	導波路幅 W_1 の入力導波路
2 0 B	入力導波路 2 0 の端面
3 0	入力側スラブ導波路
4 0	アレイ導波路
4 0 a	チャネル導波路
5 0	出力側スラブ導波路
6 0	出力導波路
7 0	導波路幅 W_3 の直線導波路
7 0 B	直線導波路 7 0 の端面

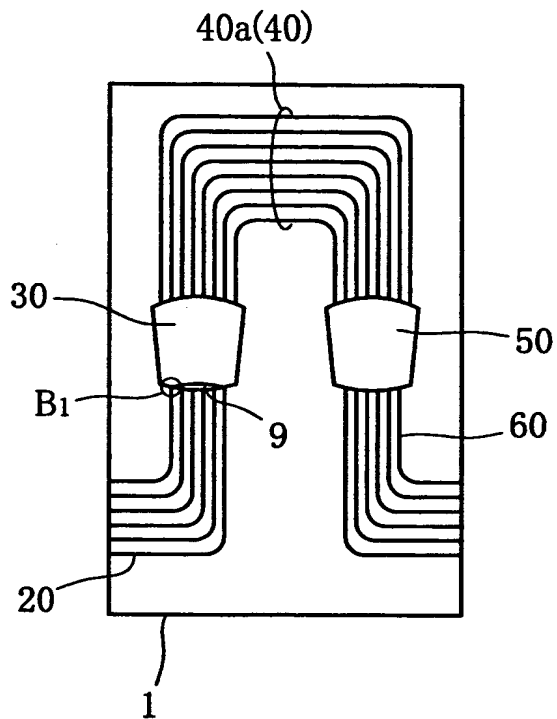
8 0 導波路幅 W_4 の直線導波路

8 0 B 直線導波路 8 0 の端面

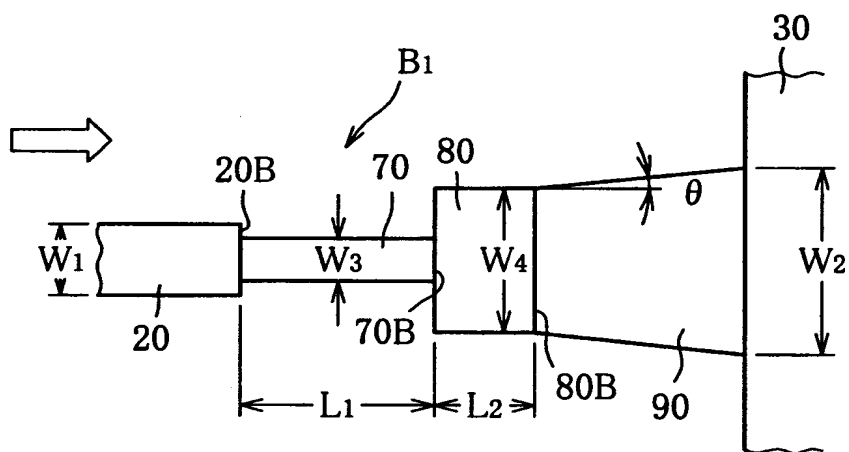
9 0 テーパ導波路

【書類名】 図面

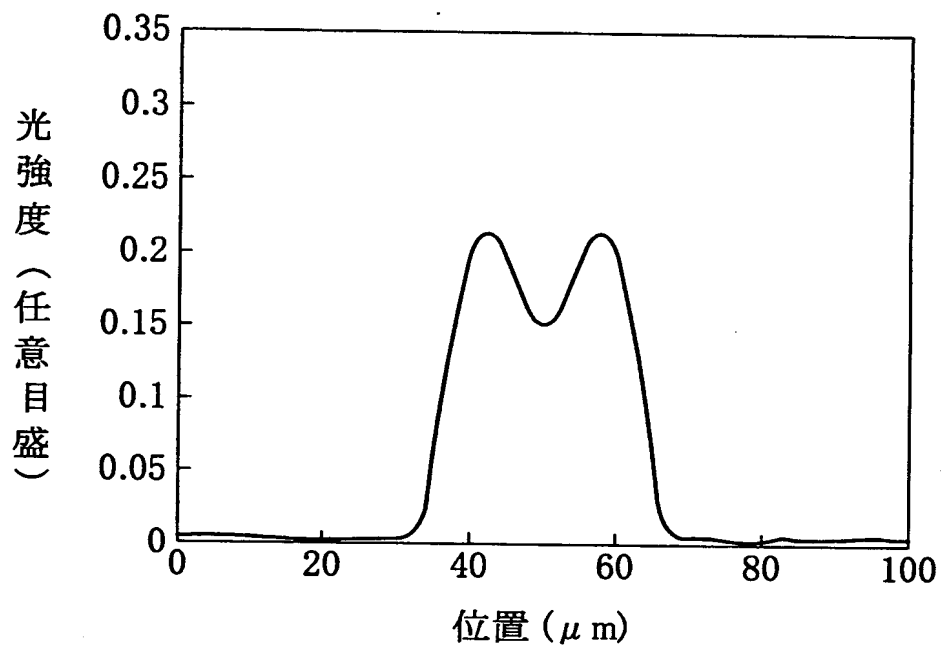
【図 1】



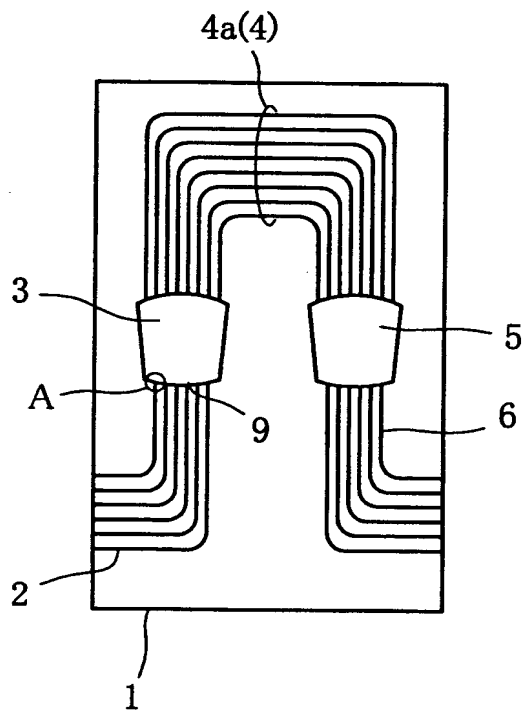
【図 2】



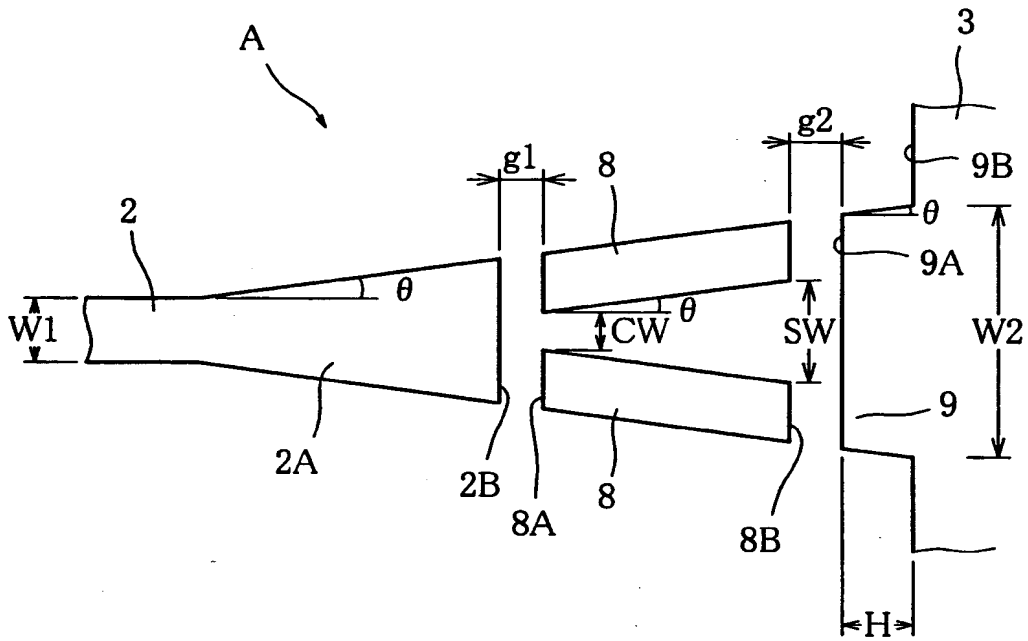
【図 3】



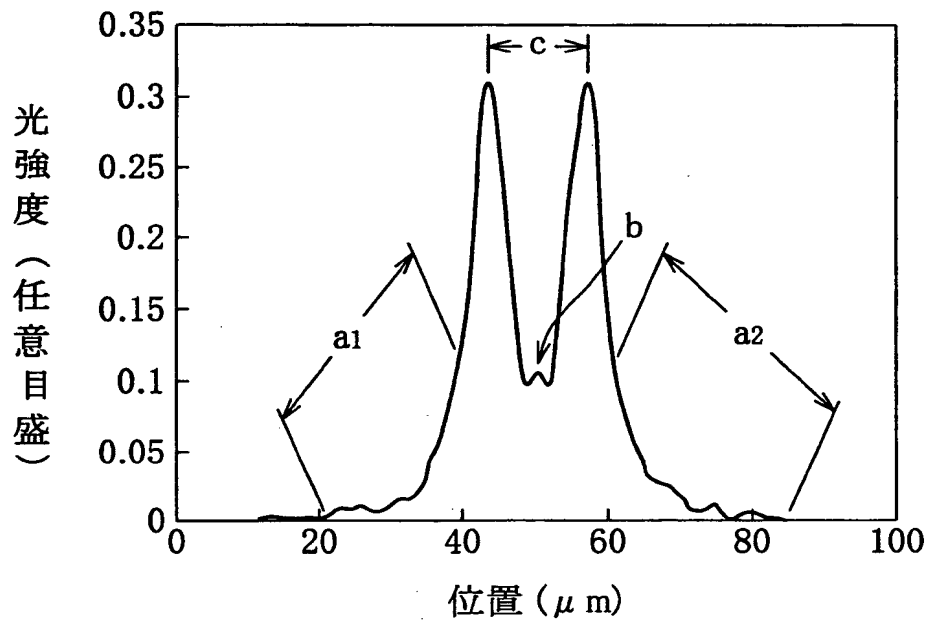
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 損失波長特性の平坦性が優れ、3 dB通過帯域幅、1 dB通過帯域幅のいずれもが広く、隣接クロストークの劣化も起こらず、しかも高い歩留まりで製造することができるアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供する。

【解決手段】 この光合分波器は、入力導波路と、入力側スラブ導波路と、アレイ導波路回折と、出力側スラブ導波路と、出力導波路とを備えており、入力導波路20と入力側スラブ導波路30との合体部 B_1 は、入力側スラブ導波路30に向かって、入力導波路20と、入力導波路20よりも狭幅の直線導波路70と、入力導波路20よりも広幅の直線導波路80と、広幅の直線導波路80の端面80Bから順次拡幅するテーパ導波路とがこの順序で接続された構造になっている。

【選択図】 図2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005290]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
氏 名	古河電気工業株式会社